第 37 卷第 5 期 生 态 学 报 Vol.37,No.5
2017 年 3 月 ACTA ECOLOGICA SINICA Mar.,2017

DOI: 10.5846/stxb201510162088
张丹,伦飞,成升魁,刘晓洁,曹晓昌,刘子鑫.不同规模餐馆食物浪费及其氮足迹——以北京市为例.生态学报,2017,37(5):1699-1708.
Zhang D, Lun F, Cheng S K, Liu X J, Cao X C, Liu Z X. The nitrogen footprint of different scales of restaurant food waste: a Beijing case study. Acta Ecologica Sinica,2017,37(5):1699-1708.

不同规模餐馆食物浪费及其氮足迹
——以北京市为例

张 丹[1],伦 飞[2],成升魁[1,*],刘晓洁[1],曹晓昌[1],刘子鑫[3]
1 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101
2 北京林业大学自然保护区学院, 北京 100083
3 信阳师范学院数学与信息科学学院,信阳 464000

摘要:餐饮食物浪费的普遍性和严重性已得到了社会各界的关注。通过实证研究的方法对餐饮消费中食物浪费问题进行了研究,并从食物全供应链的视角,对比分析了不同规模餐馆食物浪费的氮足迹及其环境影响。研究表明:北京市餐饮食物浪费人均浪费量为 74.39g/人次,其含氮量为 1.24g/人次,约占总浪费量的 2%。北京市餐饮食物浪费所引起总的氮排放量为16.37 g/人次,其中有 1.24g/人次的氮排放来自于食物的直接浪费,其余 15.13g/人次氮排放来自于食物生产过程。北京市餐饮食物浪费的氮足迹为 0.22gN/g,即每浪费 1g 的食物,就会有 0.22 g 的氮排放到环境中。对比不同规模餐馆的食物浪费情况可知,大型餐馆的人均浪费量最高,有 99.38g/人次,其氮排放量也相应最大,为 22.53g/人次;中型餐馆和小型餐馆的食物浪费人均量及 N 排放量依次减少,而快餐的最低,仅为北京市整体平均水平的 1/3。

关键词:食物浪费;环境影响;氮足迹;餐馆;北京市

The nitrogen footprint of different scales of restaurant food waste: a Beijing case study

ZHANG Dan[1], LUN Fei[2], CHENG Shengkui[1,*], LIU Xiaojie[1], CAO Xiaochang[1], LIU Zixin[3]
1 *Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing* 100101, *China*
2 *School of Nature Conservation, Beijing Forestry University, Beijing* 100083, *China*
3 *Institute of mathematics and information science, Xinyang normal university, Xinyang* 464000, *China*

Abstract: Recently, research on food loss and waste and the related environmental impact has increased globally. Wasted food creates nitrogen emissions throughout the food supply chain, from agricultural production and food processing to consumption and waste disposal. Although the generation of food waste must be reduced, the lack of quantitative information on the production of household and catering food waste has led to an underestimation of waste volumes and inhibited the development of sufficient policy interventions designed to decrease food waste. The present study investigated the volume of catering food waste generated in Beijing and calculated its nitrogen footprint. In the present study, we focused on avoidable food waste, i.e., all wasted food and raw materials that could have been consumed had they been prepared differently. Other bio-wastes, such as vegetable peels, bean dregs, or bones, were not measured. During first-hand surveys of the catering sector of urban Beijing in 2013, 136 restaurants were studied. These establishments were divided into large, medium, small, canteen, and fast-food restaurant categories. A total of 2,704 samples were collected, each consisting of two parts: a

基金项目:国家自然科学基金重点项目(71233007)
收稿日期:2015-10-16; **网络出版日期**:2016-07-15
*通讯作者 Corresponding author.E-mail: chengsk@igsnrr.ac.cn

consumer questionnaire and the weight of the sample of food waste generated by consumers of the establishment. Then, the nitrogen footprint and its discharge to the environment were calculated. The main conclusions of the present study are: (i) an estimated 74.39 g of food waste is produced per non-household meal in urban Beijing. Food waste generation differed significantly among restaurant types. For example, large restaurants generated the most waste—99.34 g, three times that produced by fast food restaurants (30.27 g). (ii) The food waste comprised many different food types, the most prominent (by weight) being vegetables (44.18%), followed by aquatic products (12.04%), pork (8.60%), beans and bean products (7.69%), poultry (7.50%), wheat flour (6.96%), rice (5.36%), beef (1.90%), mutton (1.89%), other meat (1.22%), eggs (1.20%), nuts (0.97%), other grains (0.24%), fruits (0.20%), and dairy products (less than 0.1%). (iii) The total N discharge to the environment was 16.37 per non-household meal, and the nitrogen footprint of the catering food waste produced per non-household meal in Beijing was 0.22 g N/g. By food category, the largest proportion of the calculated nitrogen emissions was generated by meat (30.65%), beans and bean products (26.61%), and grains (12.90%). By process, the food production stages producing the largest proportions of the emissions were agricultural production (almost 85%), waste management (7.60%), and fertilizer production (37.39%). Nitrogen discharge to the atmosphere, soil, and water was 7.34, 1.34, and 7.69 g per non-household meal, respectively. (iv) For the waste volumes, large restaurants generated the most N discharge—22.53 g three times that produced by fast food restaurants (5.67 g), followed by the medium (18.05 g) and small (13.05 g) restaurants.

Key Words: food waste; environmental impacts; nitrogen footprint; restaurants; Beijing

在中国 1978—2015 年的发展变化过程中,影响最长远和广泛的是城市化过程,大量人口由乡村聚集到城市。目前,中国城市化率已经超过了 50%,这意味着超过一半的人口已经生活在城市。随着城市化的快速扩张,居民的饮食结构发生了改变,肉蛋奶消费的增加,导致城市食物供给与需求之间的关系日益紧张[1-2]。与此同时,居民的饮食消费习惯也随之发生转变,外出就餐的频率增加;消费需求由大中型餐饮企业逐步向中小型餐饮企业转变[3]。

未来 20—30 年,城市化的继续膨胀将会不断地对食物生产系统提出新的、更严峻的挑战,继而对生产这些食物所必需的资源、环境和生态系统带来无以伦比的压力。然而与之矛盾的是,目前我国食物浪费的情况非常严重。据估算,中国近年来浪费食物年均总量折合粮食约 5000 万 t,相当于每年谷物净进口数量的 3 倍多[4];中国在整个供应链的食物损失和浪费率高达 19%[5]。受公务(公款)消费、"面子"和"攀比"等因素的影响,餐饮业更是食物浪费的重灾区[6]。

近年来,由于食物浪费的普遍性和严重性,中国政府采取了前所未有的一系列严厉措施,来遏制食物的严重浪费。2012 年 12 月 4 日,中共中央政治局颁布了"八项规定,六项禁令"(简称"国八条"),严厉禁止公款消费、减少食物浪费。中国媒体也通过各种渠道呼吁人们减少食物浪费,仅 2013 年,《人民日报》上关于食物浪费的报道数量就超过 250 条,相当于每周就有 5 条关于食物浪费的新闻。在此背景下,本文对我国不同规模餐馆食物浪费情况进行了实证分析,不仅有助于全面认识食物浪费问题,还将为国家制定相关政策提供科学的依据。

除了威胁粮食安全,食物浪费不仅造成了资源的巨大浪费,还给环境带来了沉重的压力。在关于食物浪费的研究中,国内外学者多侧重测算食物的浪费量[7-10]以及导致的资源浪费量[5,11-13],而带给环境压力的测算鲜有研究[14],偶见于一些文章探讨食物浪费的碳足迹[15-16]。氮元素(N)是人体所必需的元素,也是限制食物生产的重要因素,但若过量施用又会导致严重的环境污染[17-18]。因此,基于食物消费的 N 代谢过程及其环境负荷,早已成为了当前研究的热点问题[19-24]。鉴于此,本文在借鉴已有研究成果的基础上,以首都北京为案例区,以城市餐饮业的食物浪费为研究对象,通过称重的方法对餐饮消费的食物浪费状况进行调查;依据获取的大量一手食物浪费数据基础,从食物全供应链的视角,分析浪费的不同食物氮浪费的变化及其环境负荷;

对比分析了北京市不同规模餐馆食物浪费的 N 足迹及其环境影响。

1　研究方法与数据来源

1.1　研究区概况

北京是我国的政治、经济、文化中心。北京城市化发展迅速,城市人口由 1978 年的 479.0 万人,增加到 2013 年的 1825.1 万人,常住人口的比重也由 55.0% 增加到 86.3%。北京的餐饮产业对政策、潮流的变化非常敏感,一直是国内餐饮产业的风向标[3]。2005—2012 年,北京市餐饮企业的固定资产总额逐年递增,截至 2012 年底餐饮业固定资产总额已达到 641724 万元;2013 年北京市餐饮收入为 783.1 亿元,占总消费品零售总额的 9.35%[25]。

据北京市食品药品监督管理局统计数据显示,截止 2013 年 2 月,北京市已注册的餐饮服务业 62237 家,其中餐馆 27414 家,快餐店 1057 家,小吃店 7224 家,食堂 12733 家。其中,按照经营场所使用面积或就餐座位数可将餐馆分为:大型餐馆,经营场所使用面积在 500 以上(不含 $500m^2$),或者就餐座位数在 250 以上(不含 250 座)的餐馆中型餐馆,经营场所使用面积在 150—$500m^2$(不含 $150m^2$,含 $500m^2$),或者就餐座位数在 75—250 座(不含 75 座,含 250 座)的餐馆;小型餐馆,经营场所使用面积在 $150m^2$ 以下(含 $150m^2$),或者就餐座位数在 75 人以下(含 75 座)以下的餐馆。如面积与就餐座位数分属两类的,餐馆类别以其中规模较大者计。快餐店是指以集中加工配送、当场分餐食用并快速提供就餐服务为主要加工供应形式的单位。小吃店是指以点心、小吃为主要经营项目的单位。食堂是指设于机关、学校、企事业单位、工地等地点(场所),供内部职工、学生等就餐的单位。此次研究涉及的餐饮机构只包含餐馆和快餐店。

1.2　不同规模餐馆食物浪费量的获取方法

本文所研究的食物浪费是指在餐饮消费环节可以避免的浪费,即由于人们不合理的消费目的和行为,以及由于缺乏节约精神等主观意识,在现有的条件下本可以避免的一种食物损失。一些食物垃圾,如蔬菜去皮、豆渣、骨头等不属于食物浪费的范畴。本文餐馆食物浪费量的数据来自 2013 年中国科学院地理科学与资源研究所对北京 124 家餐饮机构中 2564 桌消费者的调查。

首先,通过随机分层抽样的方法,在北京市已注册的餐馆和快餐名录中选取样本餐馆;其次,通过等距抽样的方法确定每个样本餐馆中消费者的调查样本;每个调查样本分别记录就餐人数和每桌的浪费量,前者通过询问餐馆前台或者目测获得,后者主要通过称重完成,详细调研步骤参见文献[16]。

本研究中将所有食物剩余(熟食)转换为 6 大类 17 小类食物原材料(生食),分别是主食类(大米、面粉、其他粮食作物),蔬菜类(青菜类、块茎类、青豆类),大豆类(豆及豆制品),肉类(猪肉、牛肉、羊肉、禽肉、其他肉类),水产品及其它(包括蛋类、奶类、坚果类及水果类)。生熟转换参数主要来源于中国地理科学与资源研究所建立的“中国餐饮业食物消费数据库”,“原料转换数据库”以及已发表的资料[26-30]。

1.3　N 足迹的计算方法

根据生态足迹的定义,本文将食物浪费的氮足迹(NF)定义:浪费 1kg 食物所需要投入的 N 总量(N_{input}),包括浪费的食物中所含的 N 量(N_{food}),以及生产这些食物所引起的 N 的排放量。此外,定义食物源 N 的使用效率(ε_N):投入 1kg 的 N 所生产出食物中的含 N 量。

则:

$$NF = \frac{N_{input}}{W_{foodwaste}} \tag{1}$$

$$\varepsilon_N = \frac{N_{foodwaste}}{N_{input}} \tag{2}$$

基于已有研究结果[21-24],构建北京市餐饮食物浪费的 N 流动及其环境影响模型,如图 1 所示。

餐饮食物浪费的 N 流动过程主要包括化肥生产、农业生产、加工处理、餐饮消费、终端处理 5 个阶段。

（1）化肥生产阶段　在生产加工 N 肥的过程中，原料所含的 N 并不能完全转化为 N 肥，有一部分会随工业污水排放到水体中。该部分即为化肥生产过程中 N 损失量（$N_{w\text{-}fertilizer}$）；

（2）农业生产阶段　农业生产过程中施加的 N 肥，会在整个农业系统中进行循环与转换，从而用于生产食物，包括粮食、蔬菜、肉类、奶类等。在这一阶段，生产出来食物中所含的 N，即为有效部分，而在这过程中，由于农田径流（N_{runoff}）、农田侵蚀（$N_{erosion}$）、农田积累（$N_{accumulation}$）、耕作时 NH_3（$N_{NH_3\text{-}farm}$）、N_2O（$N_{N_2O\text{-}farm}$）和 N_2（$N_{N_2\text{-}farm}$）的排放，畜牧产品生产时 NH_3（$N_{NH_3\text{-}livestock}$）、$N_2O$（$N_{N_2O\text{-}livestock}$）、$N_2$（$N_{N_2\text{-}livestock}$）的排放以及畜牧粪便排放（$N_{manure}$）。所造成的 N 损失，则为无效部分，分别排放到环境中，并对大气、水体和土壤产生影响。

（3）加工处理阶段　食物加工过程并不能将食物原材料转换为人们所需要的食物，未被利用的部分所含的 N（$N_{w\text{-}processing}$），会随污水排放到水体中；经加工生产的食物，则可以被人们所消费。

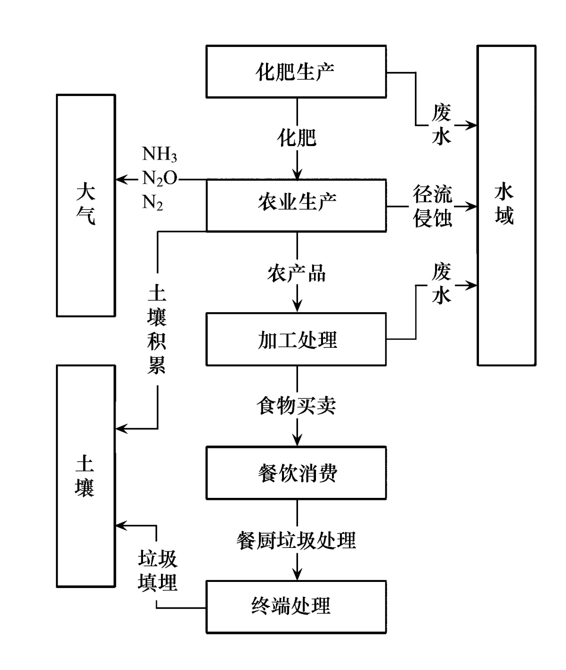


图 1　北京市餐饮食物浪费的 N 流动及其环境影响框架模型

Fig.1　The framework of nitrogen flows and their environmental impacts for restaurant food waste in Beijing

（4）餐饮消费及终端处理　该过程是餐饮食物浪费的终端，人们所浪费的食物中所含的 N 元素（$N_{w\text{-}processing}$），会通过终端处理而被填埋，从而进入到土壤之中。

餐饮食物浪费的 N 流动过程中所产生的环境影响主要包括土壤 N 积累（N_{soil}）、大气污染（$N_{atmosphere}$）和水体污染（N_{water}）。其中：土壤 N 积累主要来自包括浪费食物填埋和农田 N 的积累；大气污染主要与农业生产过程的作物生产和畜牧业养殖有关；水体污染则包括化肥生产过程中污水排放、农业生产过程中农田径流 N 排放和侵蚀 N 排放、畜牧粪便 N 排放、以及加工处理过程中的 N 排放。因此：

$$N_{input} = N_{food} + N_{w\text{-}fertilizer} + N_{runoff} + N_{erosion} + N_{accumulation} + N_{NH_3\text{-}farm} + N_{N_2O\text{-}farm} + N_{N_2\text{-}farm} + N_{NH_3\text{-}livestock} + N_{N_2O\text{-}livestock} + N_{N_2\text{-}livestock} + N_{manure} + N_{w\text{-}processing} \tag{3}$$

$$N_{soil} = N_{food} + N_{accumulation} \tag{4}$$

$$N_{atmosphere} = N_{NH_3\text{-}farm} + N_{N_2O\text{-}farm} + N_{N_2\text{-}farm} + N_{NH_3\text{-}livestock} + N_{N_2O\text{-}livestock} + N_{N_2\text{-}livestock} \tag{5}$$

$$N_{water} = N_{w\text{-}fertilizer} + N_{runoff} + N_{erosion} + N_{manure} + N_{w\text{-}processing} \tag{6}$$

餐饮浪费食物的含 N 量可根据不同农产品 N 含量（N%）获得（表 1）；餐饮食物浪费的 N 流动过程中不同阶段的 N 分配比例，主要来源于已发表的资料（表 2）。

表 1　不同食物单位 N 含率[31-33]

Table 1　Thenitrogen contents of different food[31-33]

米饭 Rice	面食 Wheat	其他谷物 Other Cereals	大豆类 Beans	蔬菜 Vegetables	坚果 Nuts	水果 Fruit	
0.0124	0.0215	0.0188	0.0586	0.0043	0.027	0.0017	
猪肉 Pork	牛肉 Beef	羊肉 Mutton	禽肉 Poultry	其他肉类 Other Meat	水产品 Seafood	蛋类 Egg	奶类 Milk
0.0240	0.0250	0.0230	0.0240	0.0240	0.0218	0.0168	0.0053

2　结果与分析

2.1　北京市餐饮食物浪费量及其 N 含量情况

北京市餐饮食物浪费人均浪费量为 74.39g/人次,其含 N 量为 1.24g/人次(表 3)。植物类和动物类食物的浪费量分别为 49.73g/人次和 24.66g/人次;含 N 量分别为 0.66g/人次和 0.58g/人次。

表 2　餐饮食物浪费 N 循环各环节 N 收支情况[31]

Table 2　The N budget and use efficiencies for different processes of restaurant food waste chain[31]

N 循环环节 Processes	N 收支情况 N Budgets	计算公式 Methods	参数 Parameters
终端处理 Final Disposal	食物含 N 量 N_{food}	$Q_{food}/a\times N\%$	见表 1
生产加工 Food Processing	生产加工 N 损失量 $N_{w\text{-}processing}$	$N_{food}\times k_1$	$k_1 = 0.36$
农业生产 Food Production	农田径流 N 损失量 N_{runoff}	$N_{crop\text{-}food}\times k_2$	$k_2 = 2.86$
	农田侵蚀 N 损失量 $N_{erosion}$	$N_{crop\text{-}food}\times k_3$	$k_3 = 0.14$
	农田土壤 N 积累量 $N_{accumulation}$	$N_{crop\text{-}food}\times k_4$	$k_4 = 0.14$
	农田排放的 NH_3	$N_{crop\text{-}food}\times k_5$	$k_5 = 2.71$
	农田排放的 N_2O	$N_{crop\text{-}food}\times k_6$	$k_6 = 0.14$
	农田排放的 N_2	$N_{crop\text{-}food}\times k_7$	$k_7 = 2.29$
	牲畜排放的 NH_3	$N_{livestock}\times k_8$	$k_8 = 5.50$
	牲畜排放的 N_2O	$N_{livestock}\times k_9$	$k_9 = 0.25$
	牲畜排放的 N_2	$N_{livestock}\times k_{10}$	$k_{10} = 1.00$
	畜牧粪便废弃 N 排放量 $N_{manure\text{-}waste}$	$N_{livestock\text{-}food}\times k_{11}$	$k_{11} = 7.50$
	化肥使用量 $N_{u\text{-}fertilizer}$	$N_{crop\text{-}food}\times k_{12}$	$k_{12} = 8.71$
化肥生产 Fertilizer Production	化肥生产 N 损失量 $N_{w\text{-}fertilizer}$	$N_{u\text{-}fertilizer}\times k_{13}$	$k_{13} = 0.15$

表 3　北京市餐饮食物浪费量及其含 N 量情况

Table 3　The amount of food waste and its N storage per capita

食物类型 Food		浪费量/(g/人次) Food waste		浪费含 N 量/(gN/人次) N in food waste	
主食类 Cereals	大米 Rice	3.99	9.35	0.05	0.16
	小麦 Wheat	5.18		0.11	
	其他粮食作物 Other cereal	0.18		0.00	
蔬菜类 Vegetables	青菜类 Vegetables	29.93	32.87	0.13	0.14
	块茎类 Roots	1.60		0.01	
	青豆类 Beans	1.34		0.00	
肉类 Meat	猪肉 Pork	6.40	15.70	0.15	0.38
	牛肉 Beef	1.41		0.04	
	羊肉 Mutton	1.40		0.03	
	禽肉 Poultry	5.58		0.13	
	其他肉类 Other meat	0.91		0.02	
其他 Other	蛋类 Eggs	0.90	1.97	0.02	0.03
	奶类 Milk	0.03		0.00	
	水果 Fruits	0.15		0.00	
	坚果 Nuts	0.72		0.02	
豆类及豆制品 Bean &bean products		5.72		0.33	
水产品 Seafood		8.96		0.20	
合计 Total		74.39		1.24	

在所浪费的食物中,蔬菜类浪费量最高,约占浪费总量的 44.18%,其次为肉类和主食类,分别占食物浪费总量的 21.10%和 12.57%。蔬菜类中,浪费量最多的是青菜类(29.93g/人次),而块茎类(1.60g/人次)和青豆类(1.34g/人次)相对较少;肉类中,猪肉的浪费量最大,其次为禽肉,牛羊肉,分别占肉类浪费量的 40.76%、35.54%、17.90%。主食浪费量最高的为面食,占主食浪费量的 55.40%;其次是米饭,占主食浪费量的 42.67%。与浪费量不同,在所浪费的食物中肉类的含 N 量最高,约占总浪费食物含 N 量的 30.64%,豆类及豆制品的含 N 量位列第二,约占总浪费食物含 N 量的 26.61%,水产品(16.13%)和主食类 12.90%)相差不大。

2.2 北京市不同规模餐馆食物浪费情况

图 2 对比分析了北京市不同规模餐馆人均浪费量及其构成。可以看出,大型餐馆的人均浪费量最高,有 99.34g/人次;其次是中型餐馆,人均浪费量为 79.97g/人次;均高于整体平均水平(74.39g/人次)。小型餐馆人均浪费量相对较少(65.62g/人次),而快餐的人均食物浪费量不到整体平均水平的一半,仅为 30.27g/人次。

从食物构成来看:

(1)主食类。尽管大型餐馆食物浪费的人均量最大,但其主食的人均浪费量相对较少,为 6.02g/人次,仅占其浪费量的 6.06%,远低于整个北京市的平均水平(9.35g/人次和 12.57%)。小型餐馆主食的人均浪费量最大,为 14.50g/人,占其浪费总量的 22.10%。中型餐馆和快餐主食的人均浪费量相差不大,分别为 10.09g/人次和 11.67g/人次。值得注意的是主食是快餐店食物浪费的主要来源,占其浪费总量的 38.57%。

(2)蔬菜类。在大型、中型和小型餐馆中,蔬菜类占食物浪费总量的比重均在 45%左右,具体的浪费量分别为 46.17、34.17g/人次和 29.36g/人次。由于快餐中蔬菜类的品种相对较少,其浪费量相对很少,快餐的人均蔬菜浪费量仅为 10.72g/人次,远低于北京市整体平均水平,且占浪费的比重较低。

(3)肉类。大型餐馆和中型餐馆肉类的浪费量相对较多,分别为 21.45g/人次和 18.38g/人次,均高于北京市整体平均水平(15.70g/人次),而小型餐馆和快餐餐馆的肉类浪费量较少,分别为 10.45g/人次和 5.39g/人次。尽管肉类的浪费量相差较大,但是在不同规模餐馆中,肉类的浪费量所占比重基本相同,约占 16%—23%。从不同肉类品种来看,在快餐餐馆中,猪肉浪费比重最大,占总肉类浪费量的 63.84%,其次是禽肉(18.76%)和牛肉(14.67%),而羊肉和其他肉类则很少;尽管小型餐馆的猪肉浪费量也超过肉类总浪费量的一半(占 58.28%),但其羊肉的浪费比重却相对较高,占其肉类浪费量的 11.30%,禽肉的浪费也相对较多(22.50%),而牛肉和其他肉类的浪费量则相对很少;大型餐馆和中型餐馆的肉类浪费情况相似,猪肉和禽肉的浪费量比重很高,大约都在 35%—40%之间,牛肉和羊肉也存在一定的浪费,分别占肉类浪费量的 10%左右,而其他肉类的浪费量则相对较少。

(4)豆类及豆制品。与蔬菜类相似,快餐中浪费的豆类豆制品相对较少,仅占 1.72%;其他 3 类餐馆的豆类及豆制品浪费比重尽管有所增加,但都在 7%—9%之间,浪费量分别为大型(8.39g/人次)、中型(6.87g/人次)和小型(4.39g/人次)。

(5)水产品。在大型餐馆中,水产品也有较多的浪费,其浪费量达到了 15.71g/人次,占总浪费的 15.82%;在中型餐馆中,水产品也存在一定的浪费量,为 8.29g/人次;由于餐馆规模及主要经营内容,小型餐馆和快餐馆中,水产品的量相对较少,因此,其水产品的浪费量分别为 3.99g/人次和 0.72g/人次。

(6)其他。与其他类型的食物浪费量相比,蛋奶类、水果及坚果的浪费量较少,为 1.80g/人次,占餐饮食物浪费总量的 2.42%。这些食物的浪费量略有差别。小型餐馆的浪费量最大,为 2.92g/人次,其中蛋类的浪费量远高于其他餐馆的浪费量,达到了 1.83g/人次,是北京市人均蛋类浪费量的 2 倍多;中型餐馆中蛋类的浪费为 1.03g/人次,加上奶类、水果和坚果的浪费量,总浪费量 2.16g/人次;大型餐馆和快餐馆这些食物的浪费量分别为 1.57g/人次和 1.25g/人次,相差不大。

2.3 北京市不同规模餐饮食物浪费的 N 足迹及其环境排放

北京市不同规模餐馆食物浪费的人均 N 排放及其 N 足迹如图 3 所示。北京市餐饮食物浪费所引起总的 N 排放量为 16.37g/人次,其中有 1.24g/人次的 N 排放来自于食物的直接浪费,其余 15.13g/人次 N 排放来自

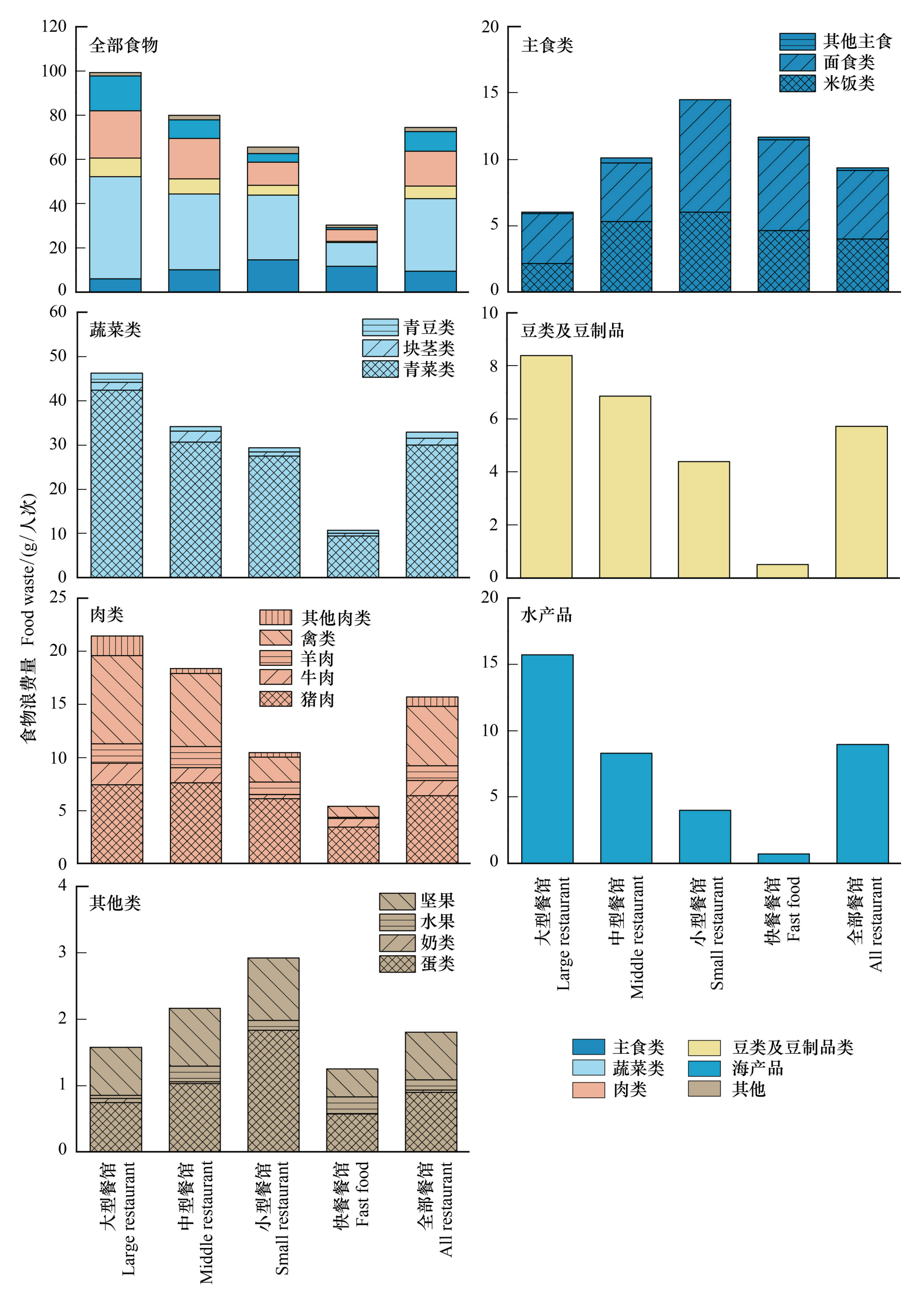


图 2　北京市不同规模餐馆人均食物浪费情况

Fig.2　Food waste per capita at different restaurant scales in Beijing

于食物生产过程。北京市餐饮食物浪费的 N 足迹为 0.22 gN/g,即每浪费 1g 的食物,就会有 0.22g 的 N 排放到环境中。换句话说,北京市每浪费含 N 量 1g 的食物,整个食物供应系统会产生 13.16g 的 N 排放。从不同规模来看,大型餐馆食物浪费的 N 排放量最大,达到了 22.53g/人次;其次是中型餐馆,为 18.05g/人次。它们均高于北京市餐馆的平均水平。小型餐馆的 N 排放略低于平均水平,为 13.05g/人次;快餐餐馆的 N 排放量为 5.67g/人次,相当于平均水平的 1/3。尽管不同规模餐馆食物浪费的人均 N 排放相差较大,但不同餐馆食

物浪费的 N 足迹相差不大,均在 0.2 gN/g 上下。

从餐饮食物浪费 N 流动的过程来看,农业生产过程的 N 排放量最大,为 13.81g/人次,占总 N 排放量的 84.34%,其次是餐厨垃圾处理,为 1.24g/人次。在农业生产过程中,N 排放量最大的为畜禽养殖过程(8.37g/人次),占农业生产过程的 60.62%。其中,又以畜禽粪便所引起的 N 排放最多(4.40g/人次),畜禽养殖排放的 NH_3所引起的 N 排放次之(3.23g/人次)。农田生产所引起的 N 排放总量为 6.31g/人次,占农业生产过程的 45.70%。其中农田排放 NH_3所引起的 N 排放最大为 1.78g/人次,农田排放 N_2次之,为 1.50g/人次。

从餐饮食物浪费 N 排放的环境影响来看:(1)排放到水体中的 N 元素可以引起水体的富营养化,主要来自于化肥生产、农业生产以及食品生产加工等阶段,它们所引起的 N 排放量分别为 0.87、6.37g/人次和 0.45g/人次。因此,整个食物浪费过程所排放到水体中的 N 量为 7.69g/人次。即每浪费 1g 的食物,就会向水体中排放 0.11 g 的 N。(2)排放到大气中的 N 会产生温室效应,主要来自于农业生产过程,NH_3、N_2O 和 N_2的排放含 N 量分别为 5.01、0.24g/人次和 2.09g/人次,其中 NH_3和 N_2O 主要来源于畜禽养殖,而 N_2的排放则主要来自于农田种植。由此可知,每浪费 1g 的食物,就会向大气中排放 0.10g 的 N。(3)土壤中的 N 积累主要来自农业生产和餐厨垃圾填埋阶段,分别为 0.09g/人次和 1.24g/人次。即每浪费 1g 的食物,土壤中积累 N 量为 0.02g。

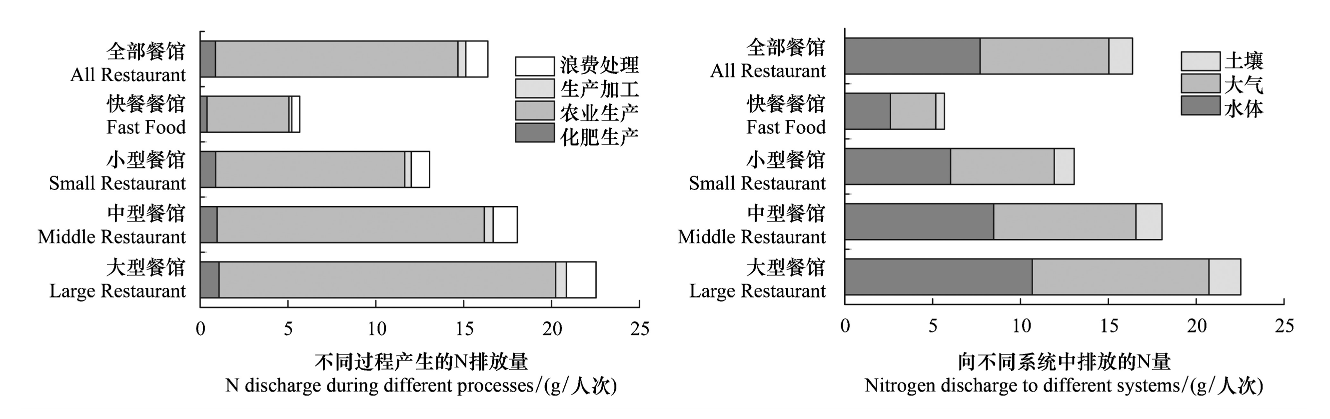


图 3 北京市不同规模餐馆人均食物浪费 N 排放情况

Fig.3 N discharge to the environment per capita due to Food waste at different restaurant scales in Beijing

3 结论和讨论

北京市餐饮食物人均浪费量为 74.39g/人次,其 N 足迹为 0.22gN/g。从浪费量来看,其蔬菜、主食和肉类的比例约为 2∶1∶1,这与北京市居民食物消费中蔬菜、主食和肉类的比例 6∶3∶1 有很大的不同[34]。这主要是由餐饮消费与在家消费的习惯差异所引起的。在餐馆消费时,人们较注重消费水平和质量,肉类是首选的食物,这也造成了肉类的浪费量相对较多。北京餐饮食物人均浪费量随着餐馆规模的扩大而增多,不同餐馆规模食物浪费构成也略有不同。这主要与其经营模式、消费对象、消费者习惯等有关。大型餐馆是公务和事件性消费的主要去向,消费者就餐时的点餐量往往超过需求量,且食物构成多样。因此,人均浪费量较多,且各类食物都存在一定的浪费;而快餐店主要是以工作餐为主,点餐量较少,且结构单一。因此,合理控制大型餐馆的食物浪费量,对于减少食物浪费和环境污染都具有重要的意义。

北京市餐饮食物浪费 N 排放对水体、土壤和大气都产生了不良影响。随着北京市城市化继续膨胀,人民生活水平不断提高,外出餐饮消费的次数持续增加,由餐饮食物浪费引起 N 排放也必然日趋严重。北京市的食物消费主要依赖外埠的供给,主食类主要来自东北,蔬菜类则来自山东、河北等地,肉类则主要来自河南和内蒙古[35]。北京市的食物浪费不仅会造成北京市环境氮负荷量增加,还严重威胁了食物供应地的生态环境。从北京市餐饮食物浪费 N 排放的食物构成来看,肉类的氮排放量最大,这是因为肉类等动物性食物的富营养化潜在性远高于主食、蔬菜等植物性食物[36]。高肉类低素食的消费模式并非合理的膳食结构,易诱发肥胖、

高血脂等疾病,威胁居民的身体健康。从北京市餐饮食物浪费 N 循环过程来看,餐厨垃圾填埋是造成北京市环境氮负荷量增加的重要环节。因此,一方面,政府应该加强科学消费的舆论引导,在全社会营造“节约食物文明,浪费食物可耻”的氛围,倡导均衡膳食结构以及绿色食物可持续消费生活方式。另一方面,要不断拓宽对餐厨垃圾资源化的途径,以饲料和肥料等方式加以利用,将大量减少土壤氮负荷量。

本文估算的单位食物氮足迹(0.02 gN/g)结果低于冼超凡估算得出的北京市城镇居民单位氮足迹(0.04—0.05gN/g)[34]。一方面是由于本研究未考虑人体排泄过程,这导致估算结果可能比现实小。另一方面,本文在研究食物 N 循环过程中,采用的参数为中国平均,如生产过程中 N 的利用率、流失率等,均高于冼超凡采用的美国的参数。从这一点说,就估算结果准确度而言,本研究更高一些。食物消费是城市营养元素流动的重要环节,其产生的氮足迹反应维持一个城市人口的基本食物需求的活性氮排放及对周边环境的影响。居民在外就餐是食物消费的一种重要方式,但由于缺乏研究及数据,很多研究都没有涉及[34,37-38]。本文的研究是城市食物消费氮流动研究的重要补充。未来的研究应针对不同餐饮菜品的初始构成,建立餐饮食物消费系统的参数和统计数据库,完善居民在外食物消费量及其氮足迹,进一步完善城市食物消费氮流动环节。

参考文献(References):

[1] 孟繁盈, 许月卿, 张立金. 中国城乡居民食物消费演变及政策启示. 资源科学, 2010, 32(7): 1333-1341.

[2] 郭华, 蔡建明, 杨振山. 城市食物生态足迹的测算模型及实证分析. 自然资源学报, 2013, 28(3): 417-425.

[3] 邢颖, 荆林波. 中国餐饮产业发展报告(2014). 北京: 社会科学文献出版社, 2014.

[4] 许世卫. 中国食物消费与浪费分析. 中国食物与营养, 2005, (11): 4-8.

[5] Liu J G, Lundqvist J, Weinberg J, Gustafsson J. Food losses and waste in China and their implication for water and land. Environmental Science & Technology, 2013, 47(18): 10137-10144.

[6] 成升魁, 高利伟, 徐增让, 唐承财, 王灵恩, Dhruba B G C. 对中国餐饮食物浪费及其资源环境效应的思考. 中国软科学, 2012, (7): 106-114.

[7] Food and Agriculture Organization of the United Nations. Global Food Losses and Food Waste: Extent Causes and Prevention. Rome: FAO, 2011.

[8] European Commission. Preparatory Study on Food Waste across EU 27. Brussels: European Commission, 2010.

[9] WRAP. Impact of More Effective Use of the Fridge and Freezer. Banbury, UK: WRAP 2013.

[10] BMELV. Determination of Discarded Food and Proposals for a Minimization of Food Wastage in Germany. Stuttgart: BMELV, 2012.

[11] Food and Agriculture Organization of the United Nations. Food Wastage Footprint: Impacts on Natural Resources. Rome: FAO, 2013.

[12] Kummu M, De Moel H, Porkka M, Siebert S Varis O, Ward P J. Lost food, wasted resources: global food supply chain losses and their impacts on freshwater, cropland, and fertiliser use. Science of the Total Environment, 2012, 438: 477-489.

[13] 张丹,成升魁,高利伟,曹晓昌,刘晓洁,刘尧,白军飞,喻闻.城市餐饮业食物浪费的生态足迹——以北京市为例.资源科学,2016,38(1): 10-18.

[14] Hall K D, Guo J E, Dore M, Chow C C. The Progressive increase of food waste in America and its environmental impact. PLoS One, 2009, 4(11): e7940.

[15] Scholz K, Eriksson M, Strid I. Carbon footprint of supermarket food waste. Resources, Conservation and Recycling, 2015, 94: 56-65.

[16] 张丹, 成升魁, 高利伟, 刘晓洁, 曹晓昌, 刘尧, 白军飞, 许世卫, 俞闻, 秦奇. 城市餐饮业食物浪费的碳足迹——以北京市为例. 生态学报, 2016, doi: 10.5846/stxb201504150769.

[17] Guo J H, Liu X J, Zhang Y, Shen J L, Han W X, Zhang W F, Christie P, Goulding K W T, Vitousek P M, Zhang F S. Significant acidification in major Chinese croplands. Science, 2010, 327(5968): 1008-1010.

[18] Liu X J, Zhang Y, Han W X, Tang A H, Shen J L, Cui Z L, Vitousek P, Erisman J W, Goulding K Christie P, Fangmeier A, Zhang F S. Enhanced nitrogen deposition over China. Nature, 2013, 494(7438): 459-462.

[19] Baker L A, Hartzheim P M, Hobbie S E, King J Y, Nelson K C. Effect of consumption choices on fluxes of carbon, nitrogen and phosphorus through households. Urban Ecosystems, 2007, 10(2): 97-117.

[20] Gierlinger S. Food and feed supply and waste disposal in the industrialising city of Vienna (1830-1913): a special focus on urban nitrogen flows. Regional Environmental Change, 2015, 15(2): 317-327.

[21] Ma L, Guo J H. Velthof G L, Li Y M, Chen Q, Ma W Q, Oenema O, Zhang F S. Impacts of urban expansion on nitrogen and phosphorus flows in the food system of Beijing from 1978 to 2008. Global Environmental Change, 2014, 28: 192-204.

[22] Gu B J, Dong X L, Peng C H, Luo W D, Chang J, Ge Y. The long-term impact of urbanization on nitrogen patterns and dynamics in Shanghai, China. Environmental Pollution. 2012, 171: 30-37.

[23] Ma L, Velthof G L, Wang F H, Qin W, Zhang W F, Liu Z, Zhang Y, Wei J, Lesschen J P, Ma W Q, Oenema O, Zhang F S. Nitrogen and phosphorus use efficiencies and losses in the food chain in China at regional scales in 1980 and 2005. Science of the Total Environment, 2012, 434: 51-61.

[24] Ma L, Wang F H, Zhang W F, Ma W Q, Velthof G, Qin W, Oenema O, Zhang F S. Environmental assessment of management options for nutrient flows in the food chain in China. Environmental Science & Technology, 2013, 47(13): 7260-7268.

[25] 北京市统计局, 国家统计局北京调查总队. 北京市统计年鉴 2014. 北京: 中国统计出版社, 2014.

[26] 叶予舜. 各种食物制备前后成品重量增损比率表.[2015-09-30]. http://wenku.baidu.com/view/dec4ab1414791711cc7917dd.html.

[27] 杨月欣, 王光亚, 潘兴昌. 中国食物成分表(第二版). 北京: 北京大学医学出版社, 2009: 1-384.

[28] US Department of Agriculture. Food Yields: Summarized by Different Stages of Preparation. Washington D C: USDA Agriculture Research Service, 1975.

[29] US Department of Agriculture. USDA Table of Cooking Yields for Meat and Poultry. Maryland: USDA Agriculture Research Service Beltsville Human Nutrition Research Center Nutrient Data Laboratory, 2012.

[30] Bai J F, Wahl T I, Lohmar B T, Huang J K. Food away from home in Beijing: effects of wealth, time and "free" meals. China Economic Review, 2010, 21(3): 432-441.

[31] Ma L, Ma W Q, Velthof G L, Wang F H, Qin W, Zhang F S, Oenema O. Modeling nutrient flows in the food chain of China. Journal of Environmental Quality, 2010, 39(4): 1279-1289.

[32] Waller J C. Byproducts & Unusual Feedstuffs. Feedstuffs, 2010, 9: 18-22

[33] USDA-NRCS. Crop Nutrient Tool: Nutrient Content of Crops. Washington: United States Department of Agriculture, Natural Resource Conservation Service, 2009.

[34] 冼超凡, 欧阳志云. 城乡居民食物氮足迹估算及其动态分析——以北京市为例. 生态学报, 2016, doi: 10.5846/stxb201411042165.

[35] 吴燕, 王效科, 逯非. 北京市居民食物消费碳足迹. 生态学报, 2012, 32(5): 1570-1577.

[36] Xue X B, Landis A E. Eutrophication potential of food consumption patterns. Enviromental Science & Technology, 2010, 44(16): 6450-6456.

[37] 于洋, 崔胜辉, 赵胜男, 孟凡鑫, 李飞. 城市居民食物氮消费变化及其环境负荷——以厦门市为例. 生态学报, 2012, 32(19): 5953-5961.

[38] 李玉炫, 王俊能, 许振成, 张志军. 广州食物氮足迹估算与分析. 广东农业科学, 2012, (6): 137-140.